

С. В. Иванова, Е. С. Старкова, Е. Г. Нешпоренко

Магнитогорский государственный технический университет
имени Г.И. Носова, г. Магнитогорск

svetlanaivanovavn@gmail.com, starkova.es@mail.ru,

neshporenkoeg@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССАХ И УСТАНОВКАХ

В работе проанализированы эффективные способы снижения тепловых потерь через стенку в высокотемпературных процессах и установках. Построены графики зависимости расхода топлива от потери количества теплоты через кладку, график зависимости плотности количества теплоты от температуры стенки.

Ключевые слова: *тепловые потери; изоляция стенки; внешнее теплоиспользование; регенеративное теплоиспользование.*

S. V. Ivanova, E. S. Starkova, E. G. Neshporenko

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

RESEARCH OF EFFECTIVE WAYS TO REDUCE THERMAL LOSSES IN HIGH-TEMPERATURE PROCESSES AND INSTALLATIONS

The paper analyzes effective ways to reduce heat loss through the wall in high-temperature processes and installations. Graphs of the dependence of fuel consumption on the loss of the amount of heat through the masonry, and a graph of the dependence of the density of the amount of heat on the wall temperature are constructed.

Keywords: *heat loss; wall insulation; external heat use; regenerative heat use*

Основными потребителями топливно-энергетических ресурсов

являются высокотемпературные установки, включающие в себя промышленные печи с потреблением органического топлива. В ходе проектирования высокотемпературных установок составляется материальный баланс технологического процесса, через тепловые эффекты технологических реакций, и определяется расход топлива печи. Основной проблемой печи являются тепловые потери через ограждения, которые могут достигать более 10 % в тепловом балансе, что приводит к увеличению расхода топлива на технологический процесс печи.

На рис. 1 представлен график зависимости расхода топлива B от потери количества теплоты через кладку печи Q_{oc} , при различной температуре отходящих дымовых газов.

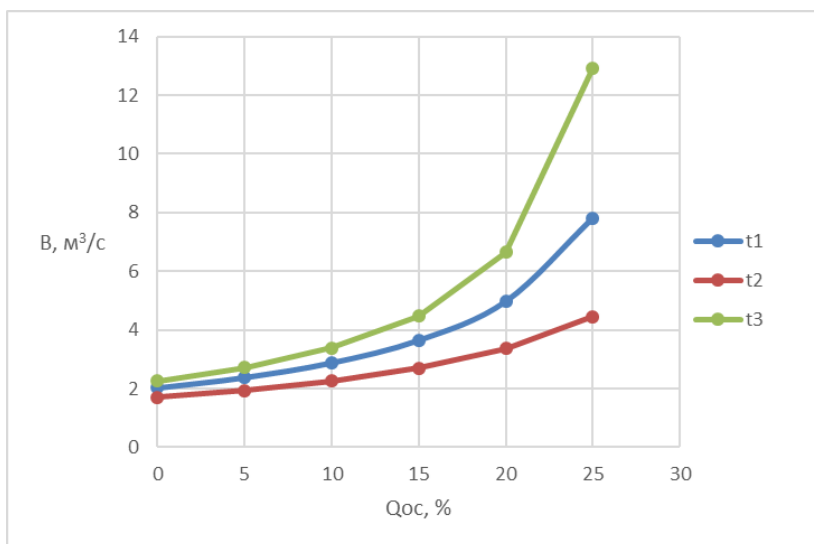


Рис. 1. График зависимости расхода топлива B , $\text{м}^3/\text{с}$, от количества теплоты через кладку печи Q_{oc} , %

Кривые t_1 , t_2 и t_3 характеризуют температуру отходящих дымовых газов, если температура отходящих газов стремится к температуре горения, то увеличивается расход топлива печи, а при снижении доли потери теплоты через кладку, будет меньше расходоваться топливо на технологический процесс печи.

Одним из высокотемпературных процессов является доменная плавка, отвечающая за производство чугуна. На сегодняшний день доля использования доменного процесса с каждым годом снижается и на смену ему приходят альтернативные процессы плавления, к ним относится и жидкофазное восстановление железа.

Одним из процессов жидкофазного восстановления железа является процесс Romelt, в котором восстановление железа из его оксидов происходит в жидкой шлаковой ванне с перемешанным в ней углем. В данном процессе температура ванны начинает увеличиваться с 1000–1100 до 1750–1850 °С, где тепловые потери с охлаждающей водой остаются в пределах 20–22 % [1].

Проблема тепловых потерь через стенку остается актуальной в новых процессах плавления. Если рассматривать однослойную стенку высокотемпературного реактора из магнезитового огнеупорного материала с теплопроводностью $\lambda = 0,75$ Вт/(м·К) и с температурой $t_{пл} = 1500$ °С, то можно определить величину плотности теплового потока q (Вт/м²), проходящего через стенку. По полученным данным была построена зависимость теплового потока от изменения внешней температуры стенки t_2 , °С (рис. 2) [2].

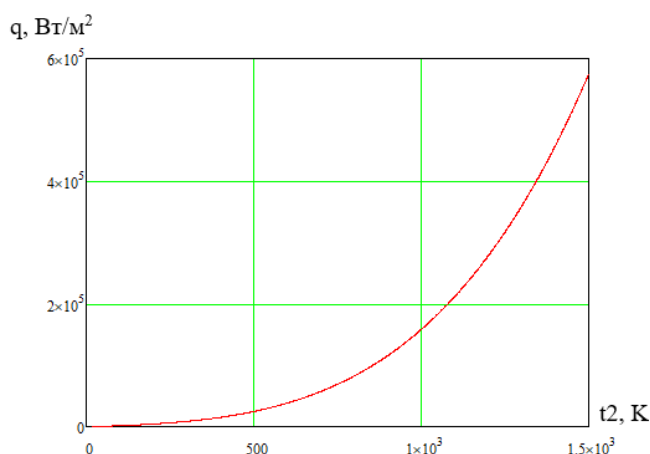


Рис. 2. Зависимость теплового потока от внешней температуры стенки

График показывает, что при уменьшении толщины стенки реактора при данном материале будет увеличиваться тепловой поток, и температура стенки будет стремиться к температуре $t_{пл} = 1500$ °С.

Для снижения тепловых потерь через стенку высокотемпературных теплотехнических процессов и установок, выделяют несколько способов изоляции стенки:

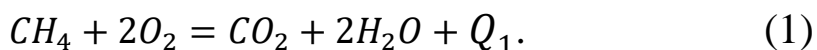
- 1) пассивная изоляция стенки (материалы с различными физико-химическими свойствами);
- 2) активная изоляция стенки;
 - принудительное охлаждение стенки с внешним теплоиспользованием;

– охлаждение стенки с регенеративным теплоиспользованием (пористая стенка, перфорированная стенка).

Регенеративное охлаждение включает в себя два процесса: внутренний теплообмен, во время которого газ отбирает тепло от пористой стенки при фильтрации к внешней поверхности, и внешнего теплообмена, когда нагретый газ поступает в высокотемпературную зону [3].

Ранее проведенные исследования [4] показывают, что использование пористого ограждения совместно с термохимической регенерацией позволяет снизить количество подаваемого топлива. При смешении природного газа и водяного пара, нагреве данной смеси до 900 °С, углеводороды C_mH_n , составляющие природный газ, подвергаются паровой конверсии. Реакция данного процесса эндотермическая, и теплота сгорания природного газа ниже теплоты сгорания синтез-газа.

Рассчитаем теплоту сгорания природного газа:



где ΔH_0^{298} – энтальпии веществ, кДж/моль;

$$\Delta H_0^{298}(CH_4) = -74,81 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta H_0^{298}(O_2) = 0 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta H_0^{298}(CO_2) = -393,518 \text{ кДж/моль},$$

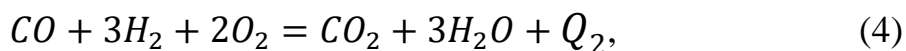
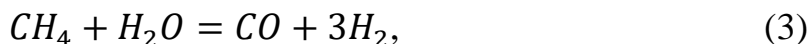
$$\Delta H_0^{298}(H_2O) = -241,818 \text{ кДж/моль}.$$

Молярный объем газов при нормальных условиях $V_m = 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль}$. Теплота сгорания вещества, кДж/м³:

$$Q_1 = \frac{(\Delta H_0^{298}(CH_4) + 2 \cdot (\Delta H_0^{298}(O_2))) - (\Delta H_0^{298}(CO_2) + 2\Delta H_0^{298}(H_2O))}{V_m}, \quad (2)$$

$$Q_1 = \frac{((-74,81) + 2 \cdot 0) - ((-393,518) + 2 \cdot (-241,818))}{0,0224} = 35819 \text{ кДж/м}^3.$$

Аналогично рассчитаем теплоту сгорания синтез-газа:



$$\Delta H_0^{298}(H_2) = 0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}},$$

$$\Delta H_0^{298}(CO) = -110,524 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}},$$

$$Q_2 = \frac{(\Delta H_0^{298}(CO) + 3 \cdot (\Delta H_0^{298}(H_2)) + 2 \cdot (\Delta H_0^{298}(O_2))) - (\Delta H_0^{298}(CO_2) + 3 \cdot \Delta H_0^{298}(H_2O))}{V_m}, \quad (5)$$

$$Q_2 = \frac{((-110,524)+3 \cdot (0)+2 \cdot (0)) - ((-393,518)+3 \cdot (-241,818))}{0,0224} = 45020 \text{ кДж/м}^3.$$

При сжигании 1 м³ CH_4 выделяется 35,819 МДж/м³ теплоты, а при сжигании 1 м³ синтез-газа 45,02 МДж/м³. Для получения такой же теплоты, как от сжигания CH_4 , при сжигании синтез-газа, потребуется на 20 % меньше топлива.

Применение пористой стенки с синтез-газом удельный расход топлива снизится до 50 % [4]. Для подачи газа через пористую стенку необходимо высокое давление, чтобы газ проходил через стенку и удерживал тепловой поток в высокотемпературной установке, при этом возникает трудность регулирования давления подаваемого газа.

Данную проблему помогает решить перфорированная стенка, которая представляет собой материал, имеющий низкий коэффициент теплопроводности, где с внешней стороны стенки устанавливаются газовые коллекторы, по которым поступает газ в каждое отверстие перфорированной стенки [5].

Таким образом, рассматривая применение перфорированной стенки совместно с термохимической регенерацией, можно ожидать снижения тепловых потерь через кладку, что является современным способом изоляции стенки высокотемпературных процессов, и для которого требуются дополнительные исследования.

Список использованных источников:

1. Жукова М. П., Панова Д. А., Нешпоренко Е. Г. Исследование предельной тепловой нагрузки ограждений высокотемпературных установок, работающих с расплавами // Студенческая наука XXI века : материалы IV Междунар. студенч. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 27 янв. 2015 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. Чебоксары : ЦНС «Интерактив плюс», 2015. С. 146–147.
2. Теплопередача : учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоиздат, 1981. 416 с.
3. Крылов А. Н. Повышение эффективности стекловаренных печей на основе комплексной регенерации тепловых отходов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Крылов Андрей Николаевич; 05.14.04 / Моск. энергет. ин-т. Москва, 2007. 20 с.
4. Нешпоренко Е. Г., Картавцев С. В. Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд : монография. Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 153 с.
5. Нешпоренко Е. Г., Картавцев С. В., Сысуев Н. Е. Обоснование эффективности регенерации теплоты через перфорированные ограждения высокотемпературных установок // Вестник МГТУ им Г.И. Носова. 2013. № 1. С. 86–89.